

# 多模式温度集成预报\*

赵声蓉

(国家气象中心, 北京 100081)

## 摘 要

基于中国国家气象中心 T213 模式、德国气象局业务模式和日本气象厅业务模式 2 m 高温度预报,利用神经网络方法中的 BP 网络建立了我国 600 多个站的温度集成预报系统,该预报系统的预报时效为 72 h,间隔为 3 h。通过对 2004 年 1—5 月的预报结果检验,表明:集成的温度预报结果明显优于 3 个模式单独的预报结果,72 h 内预报的平均绝对误差在 3°C 以内,并且不存在明显的系统误差,预报达到了一定的精度,可以为预报员提供定时、定点精细的客观温度预报参考。分区的检验结果表明:不同区域预报误差存在差别,新疆和西藏误差比较大,而长江流域和华南地区误差很小,并且不同区域系统误差的情况也不相同。从总体情况看,预报误差还存在日变化,一般来讲,夜间的预报误差小于白天。

关键词:神经网络;BP 网络;温度预报;集成预报

## 引 言

预报的集成问题很早就被提出来了<sup>[1-2]</sup>,近年来预报技术不断发展,预报产品也日益丰富,预报员往往要面对大量不同的预报产品,这使得集成预报问题变得日趋重要。

我国气象工作者在集成预报方面作了很多工作,周家斌等<sup>[3]</sup>根据国家气候中心每年召开的汛期预报会商中各家预报结果的历史评分,对 1995—1997 年的预报结果进行了集成预报试验,结果表明集成预报具有比较高的稳定性和准确性。金龙等<sup>[4]</sup>通过神经网络方法对南京地区春季降水预报进行了集成预报实验,并与其他集成方法进行比较,结果表明神经网络方法用于集成预报有比较好的效果。魏凤英<sup>[5]</sup>利用区域动态权重方法对 3 种预报模型的预报结果进行集成,结果表明集成预报的预报技巧评分优于单个方法预报技巧评分的平均水平,并在一定程度上改善了单个预报技巧不稳定的现象。周家斌等<sup>[6]</sup>对 1998 年全国降水分布的 4 种预报集成的结果表明,对 1998 年长江中下游和嫩江流域的异常洪涝,集成预报明显高于单个预报的评分。

关于集成预报已有很多的研究,大多是对长期预报和短期气候预报的集成。刘还珠等<sup>[7]</sup>利用神经网络方法对几种降水中短期客观预报的结果进行了综合集成,但总体来说,关于短期和中期集成预报的研究工作还很少,这可能是由于中短期预报更多依赖于预报员主观的综合判断,但是现在预报产品越来越多,不可能要求预报员对每一种产品都有完全充分的了解,在对预报产品的应用上难免带有较大的主观性。

随着社会和国民经济的快速发展,人们期望气象部门能提供在时间和空间上更为精细的预报,预报工作量大大增加,在没有任何客观要素预报产品支持的情况下,仅靠预报员来完成是有困难的,因此从业务需要来说,建立一个能提供比较高时间分辨率的定时定点客观要素预报系统是必要的和急需的。数值预报模式能够提供时间和空间分辨率较高的、客观的温度预报结果,但是数值预报的要素预报结果精度是不够的,难以满足实际预报业务需要,需要在数值预报的基础上进行进一步的释用,以提高数值预报产品的预报精度。同时在实际业务中通常有多个模式的预报结果,各个模式的预报结果各有特点,因此为预报员提供相对更为稳定的综合集成

\* 国家科技攻关计划奥运科技专项项目“奥运气象保障技术研究”(2002BA904B05)和中国气象局 2005 年气象新技术推广项目“精细化大气要素中短期客观预报业务系统开发”(CMATG2005 M07)共同资助。

2004-11-26 收到,2005-08-16 收到再改稿。

后的客观预报结果将是数值预报产品释用中的一个重要工作。

本文利用神经网络方法,基于对中国国家气象中心 T213 模式、德国气象局业务模式和日本气象厅业务模式 2 m 高温度预报的集成建立了我国 600 多个站、预报时效为 72 h,间隔为 3 h 的温度预报系统,并于 2004 年 1 月 1 日开始试运行。

## 1 BP 网络简介

本文采用神经网络中的 BP 网络,它是一种单向传播的多层前向网络<sup>[8]</sup>,BP 网络的基本结构如图 1

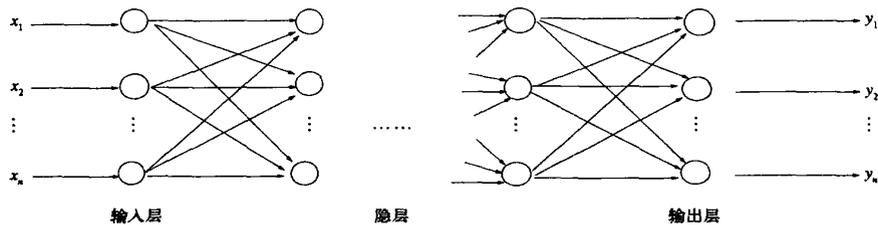


图 1 BP 网络结构示意图

BP 网络可以看成是一个从输入到输出的高度非线性映射。作用函数通常为 Sigmoid 型函数,本文采用的作用函数如下所示:

$$f(x) = \frac{1 - e^{-x}}{1 + e^{-x}}$$

网络的权值通过学习获得,这里的学习方法采用的是误差反向传播算法,误差反向传播算法的基本过程为:①初始化,即给网络权值赋以初值,一般是赋予一个不为零但接近零的值;②有了网络权值以后分别计算各个样本隐层和输出层的值,并由此可以得到输出结果与实况之间的误差;③根据误差结果由后向前采用梯度下降法修正各层各节点的权值;④重复②~③直到网络收敛或达到一定的误差要求,学习结束。

## 2 资料、技术方案和预报模型建立

### 2.1 资料

本文所用资料为 T213 模式、德国模式和日本模式 20:00(北京时,下同)起报的 2 m 高温度预报结果以及我国 600 多个站 1 日 8 次的温度观测资料,资料长度为 2003 年 4 月—2004 年 5 月。

所示。

BP 网络包括了输入层、隐层和输出层 3 部分,隐层可以是多层也可以是一层,隐层上的节点称为隐节点。输入信号向前传播到隐层节点,通过权值和作用函数的作用形成隐节点的值,隐节点的值再向前传播到下一层,最后获得输出结果,每一层节点的输出只影响到下一层节点的输出。作用函数决定了网络节点的特性,设  $O_i$  为节点  $i$  的输出, $I_i$  为节点  $i$  的输入,则  $O_i = f(I_i)$ ,其中  $f(x)$  为作用函数, $I_i = \sum_j W_{ij} O_{jk}$ ,  $W_{ij}$  为节点  $i$  对应上一层节点  $j$  的权值, $O_{jk}$  为上一层节点  $j$  对应节点  $i$  的输出。

T213 模式温度预报为  $0.5625^\circ \times 0.5625^\circ$  的经纬网格点资料,其预报时效为 72 h 内 3 h 间隔;德国模式温度预报为  $1.5^\circ \times 1.5^\circ$  的经纬网格点资料,其预报时效为 48 h 内 6 h 间隔,48 ~ 72 h 为 12 h 间隔,中间时效预报通过内插获得;日本模式温度预报为  $1.25^\circ \times 1.25^\circ$  的经纬网格点资料,其预报时效为 72 h 内 6 h 间隔,中间时效预报通过内插获得。

### 2.2 预报模型建立

由于资料样本积累时间较短,在预报模型建立过程中为了利用尽可能多的历史资料和及时引进最新资讯对预报模型的影响,采取了滚动建立预报模型的技术路线,以使得样本累计过程和预报模型更新同时进行。另外经过对比试验发现起报时刻(20:00)的温度实况对预报效果有一定影响,因此把该因子也作为预报因子引入到预报模型中。

预报模型建立的具体过程如下:① T213 模式、德国模式和日本模式相应时间的温度预报作为预报输入;② 每个模式取站点周围 4 个点作为预报因子,一方面避免插值引起的误差,另一方面在一定范围内考虑了模式预报的空间特征;③ 预报因子中加入了模式起报时刻相应站点的温度实况;④ 分冬半年和夏半年建立预报模型,建模过程每一周自动进

行一次。

### 3 预报产品及结果检验

#### 3.1 预报产品

该预报系统的预报产品为我国 600 多个站的温度预报,预报时效为 72 h 内 3 h 间隔。实时预报流程如下所示:①读取当日 T213 模式、德国模式以及日本模式 2 m 高温度预报结果的格点场资料;②读取当日 20:00 我国测站的温度观测资料;③形成预报因子文件;④读取各个测站不同时效的预报参数文件进行预报,并根据预报员的需要形成不同格式

的预报结果文件;⑤预报结果文件传输到预报服务器上供预报员参考使用。

#### 3.2 集成预报与 3 个模式预报的对比分析

该预报系统从 2004 年 1 月 1 日以来稳定运行,我们对 2004 年 1 月到 5 月的预报结果进行了检验,并对相应时段的 T213 模式、德国模式和日本模式预报结果进行了插值和检验。下面将从不同方面来分析集成预报的预报效果。

##### 3.2.1 集成预报与 3 个模式平均绝对误差对比

温度预报的平均绝对误差是衡量预报效果的根本指标,因此先来看一看集成预报和 3 个模式预报 1—5 月平均的温度预报平均绝对误差情况(图 2)。

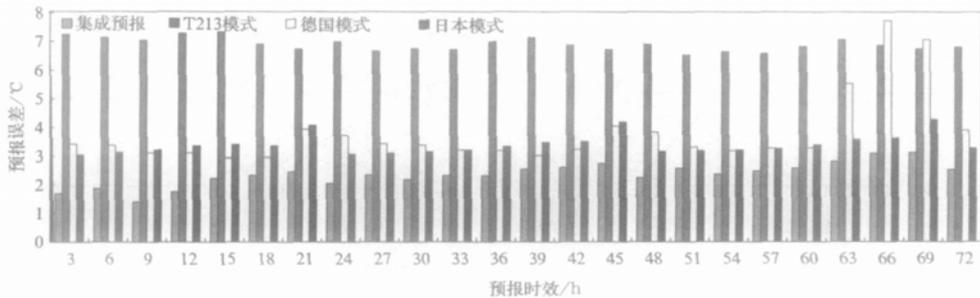


图 2 2004 年 1—5 月集成预报以及 T213 模式、德国模式、日本模式温度预报的平均绝对误差

由图 2 可以看到,集成预报误差最小,除 66 h 和 69 h 预报略大于 3 °C 外,其余时次预报误差都在 3 °C 以内;T213 模式预报误差最大,平均绝对误差基本在 6~7 °C 之间;德国模式与日本模式的预报误差基本相当,误差大于集成预报,而小于 T213 模式预报。63 h,66 h 和 69 h 德国模式预报的误差较大,这是因为 48~72 h 德国模式预报为 12 h 间隔,中间时效的预报通过内插获得,48 h 至 60 h 预报刚好在夜间,温度变化不很大,而 60 h 至 72 h 预报则是在白天温度变化很大,中间的 63 h,66 h 和 69 h 预报是内插的值,误差自然会很大,并不代表预报的真实情况。

另外,由图 2 还可以看到,预报误差存在日变化,一般是白天的预报误差相对偏大,而夜间的预报误差相对偏小,这与温度本身的变化特点有关。

不同月份平均绝对误差的情况(图略)与 1—5 月平均的情况一致,集成预报的效果最好。但是不同月份之间也存在差异,主要是 1—2 月份预报误差相对小于同一预报 3—5 月份的误差,尤其是集成预报的差异较大,1—2 月份平均绝对误差 24 h 内基本

小于 2 °C,而 2—5 月的 24 h 内预报接近或大于 2 °C。

##### 3.2.2 集成预报与 3 个模式平均误差对比

平均绝对误差反映了温度预报的一个重要方面,而平均误差反映的是预报的系统误差情况,下面分析集成预报与 3 个模式预报的平均误差的情况。

从图 3 中可以看到,集成预报的温度平均误差在 -0.5~0.5 °C 之间,大多数时效的平均误差接近零,表明集成预报的系统误差不明显;3 个模式除 18 h 和 42 h 德国模式预报的平均误差为小于 1 °C 的正值外,其他全部为负值,说明模式温度预报以偏低为主;T213 模式预报结果平均误差的绝对值较大,绝对值最小的 69 h 预报达到了 -3.7 °C,而平均误差绝对值最大的 3 h 预报到达了 -5.17 °C,这个结果表明,T213 模式的温度预报偏低,系统误差明显,而 T213 模式较大的温度预报误差主要是由系统误差引起的。德国模式和日本模式的平均误差存在日变化,白天的系统误差要比夜间明显;德国模式 63 h,66 h 和 69 h 较大的系统误差是由于插值引起的,这与平均绝对误差中分析的原因一致。

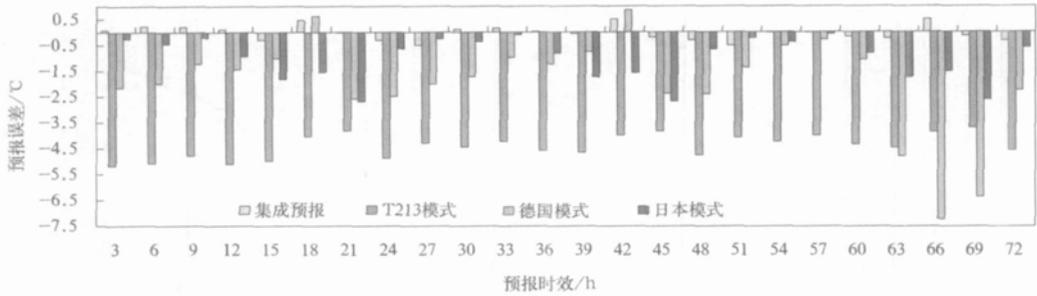


图3 2004年1—5月集成预报以及T213模式、德国模式、日本模式温度预报的平均误差

各个月平均的情况(图略)与1—5月平均情况一致,但3—4月份的预报系统误差比同一预报其他月份的系统误差更明显。

### 3.3 集成预报的误差区域分布特征

前面分析结果表明:集成预报的预报结果整体上达到了一定的精度,但不同的预报区域集成预报的误差是否存在差异?

由不同区域温度集成预报的平均绝对误差(图略)可以看到不同区域的预报误差存在较大差别,误差较大的区域是新疆和西藏,其中新疆66 h的平均绝对误差达到了4 °C,误差最小的区域是长江中下游地区和华南地区。华北地区有个别时效误差较大,主要是3 h,27 h和51 h预报,通过平均绝对误差的空间分布(图略)可以看到误差较大的原因是部分台站在这几个时效误差较大引起的,进一步的分析发现这些台站23:00实况资料是从2004年1月开始才有,其他时效也存在这样的情况,但相对较少,由于实况资料造成了样本过短是引起误差的主要原因,而新疆和西藏预报误差较大的原因之一是这些地区温度本身变率较大。各个区域预报平均绝对误差总体上随预报时效增加而增大,但存在日变化,白天的预报误差往往大于夜间的预报误差,这与全国平均情况是一致的。

### 3.4 集成预报对明显温度变化过程预报能力分析

2004年6月份北京有几次明显的温度变化过程,为了从一个侧面检验温度集成预报对大幅度温度变化的预报能力,给出了北京站6月18 h,27 h以及36 h预报与实况的对比曲线(图4)。

18 h的温度预报对应14:00的温度实况。从图4可以看到:6月北京14:00的温度有3次比较大的降温过程,分别是16日、24日和29到30日。第1次过程实况从15日的31 °C降到16日的17 °C,降

温幅度为14 °C,集成预报从35 °C降到了20 °C,降温幅度为15 °C,虽然这两天的预报值与实况相差分别是4 °C和3 °C,但降温幅度基本一致;16日到17日,实况从17 °C升致24 °C,预报值从20 °C升致26 °C,升温幅度也一致。第2次过程温度变化相对较小,预报与实况的对比与第一次过程相似;第3次过程实况从28日的32 °C连续两天下降到30日的19 °C,降温幅度是13 °C,相应的集成预报第1天降温不明显,两天的降温幅度也达到了11 °C,但集成预报降温比实况晚了1天。

27 h预报对应23:00温度实况,温度变化较明显的过程分别是:从15日的24 °C降到16日的16 °C,17日上升到22 °C,相应的集成预报从25 °C降至18 °C,之后上升21 °C,预报与实况比较一致,23日的温度变化过程不是很明显,28—30日温度从29 °C连续两天降到了17 °C,预报从29 °C降到19 °C,在两次明显的温度变化过程中集成预报结果与实况是比较一致的。36 h预报对应08:00的温度实况,08:00的温度变化相对缓慢,实况与预报更为接近。

上面的分析表明集成预报对北京地区大幅度的降温过程具有一定的预报能力,在转折性的温度变化过程的预报中集成预报结果是可以参考的。但是对预报效果相对较差的新疆和西藏地区情况,图5给出了6月份乌鲁木齐和拉萨27 h预报与实况的对比。乌鲁木齐的预报与相应实况比较接近,并且7日、15日和24日较大幅度的降温过程预报在温度变化幅度和起止时间上都与实况一致,说明集成预报对乌鲁木齐地区的温度预报还是有较好的参考意义的。但拉萨的预报效果较差,出现在13日、19日和29日3次降温过程都没有预报成功。

因此,从总体情况看:集成预报对明显的降温过

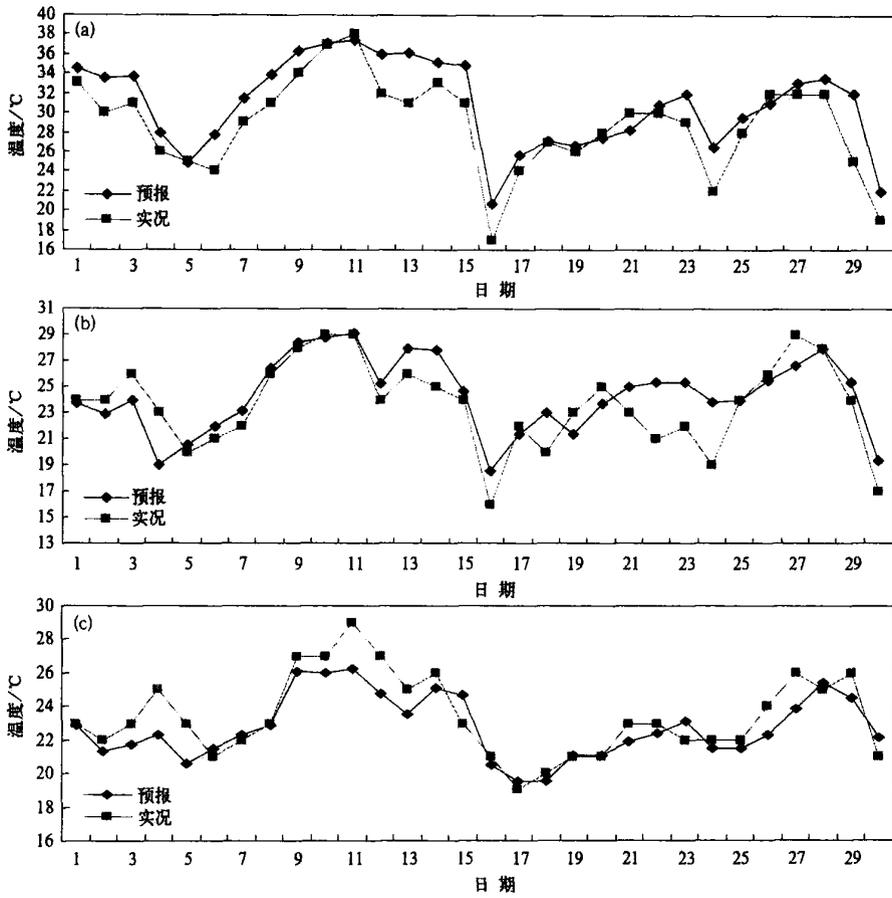


图4 北京站 2004 年 6 月 18 h (a) , 27 h (b) ,36 h (c) 温度预报与实况对比  
(图中横坐标为实况日期)

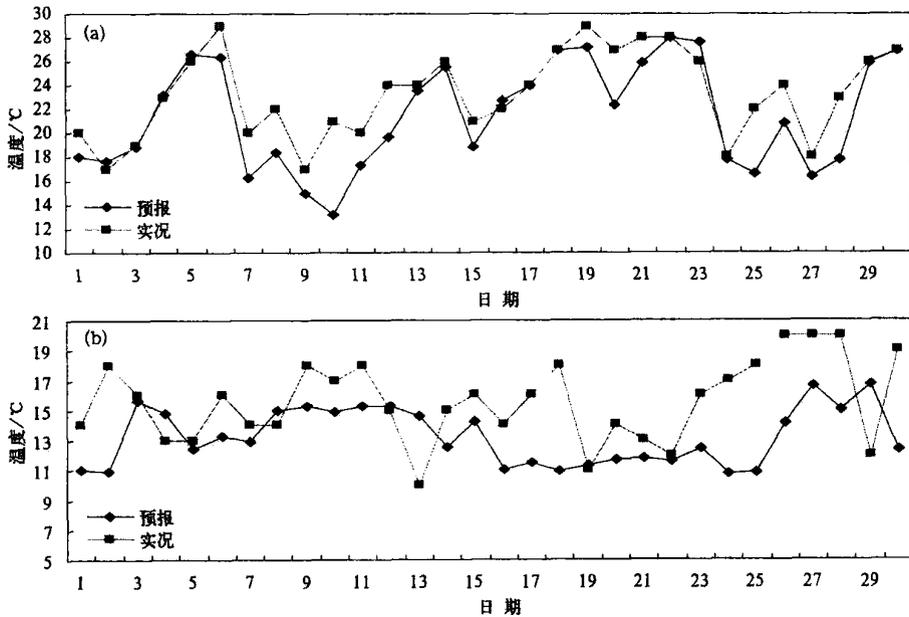


图5 2004 年 6 月 乌鲁木齐 (a) ,拉萨 (b) 27 h 温度预报与实况对比(说明同图 4)

程还是具有一定的预报能力,其对转折性温度变化过程的预报具有一定的参考意义,但集成预报在拉萨的预报效果较差,对降温过程几乎没有预报能力,原因有待进一步分析。

#### 4 不同集成方案预报效果分析

在前面误差分析中我们看到:3个模式中 T213 模式预报误差最大,但由于德国模式和日本模式预报时效间隔都是 6 h 或者 12 h,只有 T213 模式的间隔是 3 h,而且 T213 模式预报的系统误差也很明显,

因此集成预报中保留了 T213 模式的预报结果。但我们仍然希望进一步分析 T213 模式预报结果在集成预报中的作用,因此,采用两种集成方案进行试验来具体分析 T213 模式预报对集成预报的影响。

方案一:集成预报中包括 T213 模式预报。

方案二:集成预报中去除 T213 模式预报。

两种方案都通过 2003 年 3 月 1 日到 5 月 31 日以及 2004 年 3 月 1 日到 5 月 15 日的资料建立预报模型,2004 年 5 月 16—22 日进行预报。图 6 给出了这 7 天两种集成方案预报平均绝对误差。

从图 6 可以看到,两种集成方案的误差有相同

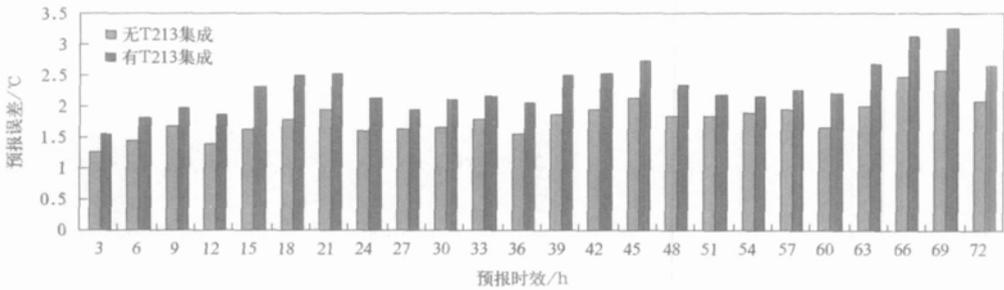


图 6 2004 年 5 月 16—22 日温度预报平均绝对误差

的变化趋势,即从整体上看随预报时效增加,预报误差增大,并且存在明显的日变化,白天预报误差大于夜间。所有时效无 T213 模式集成预报的误差都小于有 T213 模式集成预报,除 45 h,66 h,69 h 和 72 h 预报外,无 T213 模式集成预报的平均绝对误差小于 2 °C,预报效果较好。该结果表明:集成预报对单个预报的预报性能有较高的要求,单个预报的预报性能越高,集成预报的效果越好,因此在进行集成预报时,有必要对集成的单个预报进行预报效果分析,选取预报效果较好的单个预报进行集成。

#### 5 结论与讨论

1) 集成的温度预报结果明显优于 3 个模式的预报结果,72 h 内预报的平均绝对误差在 3 °C 以内,并且不存在明显的系统误差,预报达到了一定的精度,可以为预报员提供定时精细的客观温度预报参考。同时利用神经网络方法对模式温度预报进行综合集成是可行的。

2) 不同区域预报误差存在差别,新疆和西藏误差比较大,引起这些地区预报误差较大的原因之一

是这些地区温度本身变率较大,长江流域和华南地区误差很小,并且不同区域系统误差的情况也不相同,有的区域有的时效系统误差相对明显一些。从总体情况看,预报误差还存在日变化,一般晚上的误差小于白天。集成预报对于大幅度降温具有一定的预报能力,但西藏地区预报效果较差,对大幅度降温过程的预报能力较差。

3) 不同预报方案的对比分析表明:由于 T213 模式的预报误差较大,无 T213 模式集成预报的效果好于有 T213 模式集成预报,说明单个预报效果的好坏对集成预报有明显影响,在进行集成预报时,有必要先了解各个集成预报成员的预报性能,选取预报效果较好的成员进行集成预报。

部分台站预报误差较大,资料样本较短是引起误差的一个方面,同时实况观测资料的直接使用,而没有进行一定的质量控制是引起误差的另一个重要方面,还需要针对不同区域、不同台站的具体情况进一步分析提高预报效果的有效方法。

#### 参考文献

- [1] 章少卿,丁世晟. 预报综合问题的初步探讨. 气象学报,1960, 31:110-118.

- [2] Stael V, Holstein C A S. An experiment in probabilistic weather forecasting. *J Appl Meteor*, 1971, 10: 635-645.
- [3] 周家斌, 张海福, 杨桂英, 等. 制作汛期降水集成预报的分区权重法. *应用气象学报*, 1999, 10(4): 428-435.
- [4] 金龙, 陈宁, 林振山. 基于人工神经网络的集成预报方法研究比较. *气象学报*, 1999, 57(2): 198-207.
- [5] 魏凤英. 全国夏季降水区域动态权重集成预报试验. *应用气象学报*, 1999, 10(4): 402-409.
- [6] 周家斌, 张海福. 一种汛期降水分布的客观集成预报方法. *应用气象学报*, 2000, 11(增刊): 93-97.
- [7] 刘还珠, 郝为, 林孔元, 等. 基于智能计算的多模型气象综合预报 // 刘还珠, 汤桂生. 暴雨落区预报实用方法. 北京: 气象出版社, 2000: 30-37.
- [8] 赵振宇, 徐用懋. 模糊理论和神经网络的基础与应用. 北京: 清华大学出版社, 南宁: 广西科技出版社, 1996.

## Multi-model Consensus Forecast for Temperature

Zhao Shengrong

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

### Abstract

Based on temperature forecast of operational middle-range model of China, operational model of German meteorological administration, operational model of Japan meteorological agency and temperature observations of China, a temperature consensus forecast system is developed through method of artificial neural network. Product of the system is station temperature forecast of China with 3-hour interval within 72 hours.

Forecast modes of summer half year and winter half year are established separately. In order to include most recent impact of data, the process of developing forecast mode runs once a week under the condition of absorbing new data as much as possible.

The system has been running stably from 1st of January in 2004. Testing of forecast result from January to May in 2004 indicates that consensus forecast is better than single model forecast. Absolute forecast error of consensus is less than 3.0 °C within 72 hours, and it has no systematical error. That means consensus can provide objective forecast support for forecast people. And it also indicates that artificial neural network is a kind of effective method to temperature consensus forecast.

Consensus forecast error is different according to different area. It is bigger over Xinjiang and Xizang and smaller over south China and the reaches of the Yangtze. The cause of this phenomenon is possibly that temperature variability is bigger over Xizang than that over the reaches of the Yangtze. Forecast error of consensus has obvious daily variation. It is always bigger during daytime than in night.

On average, the consensus forecast also has forecast ability for temperature changing process with much more argument through contrasting between observation and corresponding forecast result of June in 2004 at partial stations. But the ability of forecast temperature with big argument is poor over the Tibetan area.

In order to investigate single forecast impact to consensus forecast, different consensus schemes are developed with forecast results of different schemes checked. Contrasting between different schemes shows that every single forecast with good impacts is important for consensus forecasts results.

**Key words:** neural network; BP network; temperature forecast; consensus forecast